RESEARCH HIGHLIGHTS

Technical Series 00-125

# DETERIORATION OF PARKING STRUCTURES: EXTENT, CAUSES AND REPAIR CONSIDERATIONS

## Introduction

Parking structures are subjected to demanding service conditions. These include live load effects, such as vehicular impact and abrasion, as well as environmental effects such as high humidity and moisture levels, thermal variations, and attack from de-icing salts. Together these factors can lead to premature deterioration of parking structures even when constructed to meet appropriate building codes. Major parking structure deterioration first became apparent in the late 1970's and the problem became widespread within about a decade. This work was commissioned by CMHC to identify factors that favourably affect the serviceability of parking structures.

## Research Program

This work presents an overview of the most important aspects of corrosion-induced parking structure deterioration resulting from repeated exposure to roadway de-icing salts and moisture. It represents the third study carried out by CMHC concerning parking structure deterioration. The first two were carried out by J. A. Bickley of Trow Ltd. and published in 1981 and 1984, respectively (see Highlight 00-128). This document references key points from the 1984 survey and provides additional material from the author's own experience to provide an overview of parking structure deterioration and repairs.

## Results

The information in this report relates to the evaluation and repair of heated, cast-in-place underground parking garages that typically have suspended slabs.

The report is written in six parts:

| | |
|---|---|
| 1.0 | Introduction |
| 2.0 | Causes and Types of Deterioration |
| 3.0 | Evaluating the Extent of Deterioration |
| 4.0 | Repair Options and Techniques |
| 5.0 | Inspection/Maintenance Procedures |
| 6.0 | Economic Issues |

It is intended as a reference for technical audiences not yet fully conversant with the deterioration problem. The key points outlined in each section are provided below.

### Causes and Types of Deterioration

The most important cause of deterioration to these structures is attributed to reinforcement corrosion promoted by road salts. In the presence of an electrical potential in the reinforcing steel, an electrolyte to conduct electrical current, and oxygen, the corrosion process will occur. The factors that influence the rate of corrosion include:

CMHC SCHL

HOME TO CANADIANS
Canada

- Chloride concentration: higher levels cause higher rates of corrosion;
- Moisture content: corrosion normally stops early on in the initial drying process and should not start again unless the concrete becomes almost saturated;
- Concrete mix: reduced water cement ratios help limit the ingress of water, oxygen and chlorides;
- Concrete cover: increased cover significantly reduces the corrosion rate, primarily by reducing chloride ion penetration.

Other types of concrete deterioration include cracking, leaching and scaling.

### Evaluating the Extent of Deterioration

The objectives of an investigation program into parking structure deterioration are:

- To establish the nature and extent of deterioration;
- To determine the underlying causes of the deterioration; and
- To develop a comprehensive repair scheme.

The investigation procedure itself must be systematic and thorough. A two-phase approach is recommended.

The first phase is a preliminary visual survey to establish the nature of the problem, plan the detailed investigation and gain insight into the structural implications of the defects. Specifically, the preliminary survey would include: a document review; visual inspection and photographic record; sample removal of spalled concrete for preliminary examination of extent of reinforcement corrosion and possibly chloride ion content tests; and chain drag surveys and covermeter tests to determine the extent of delamination and concrete cover, respectively.

The second phase should quantitatively determine the following key items: extent of corrosion (half-cell measurements); extent of delamination; concrete cover; chloride levels; concrete permeability; and concrete strength. Other issues that may be considered include: concrete quality (compressive strength, cement content, density and air content); electrical resistance of waterproofing membranes to evaluate their permeability to water; and slab drainage paths to indicate areas susceptible to ponding. The data is typically presented visually on a plan of the garage.

### Repair Options and Techniques

The repair program must address structural and functional considerations. The final selection of a repair option will depend on the assessment of the garage condition and budget limitations, but could include the following repair options:

- Epoxy injection of cracks and installation of a waterproof membrane wearing course.
- Replacement of deteriorated concrete and reinforcements, and installation of a waterproof membrane and wearing course.
- Replacement of deteriorated concrete and reinforcement, and installation of a dense concrete overlay.
- Replacement of deteriorated concrete and reinforcement, and installation of a cathodic protection system.
- Complete demolition and rebuilding of the structure.

101-03270/

### Inspection/Maintenance Procedures

Due to their specialized functional requirements and the demanding environmental conditions under which they must perform, parking garages require periodic inspection and maintenance procedures that recognize their special status as structures. An annual visual inspection for damage or leaks is recommended. Regular maintenance should also be carried out, including cleaning of drains, flushing surfaces with water and maintaining adequate ventilation. Reducing or eliminating heating in the garage can also prolong the life of the floor.

### Economic Issues

Parking structure repair will generally involve a compromise between what is technically possible and what is economically feasible. Long term cost comparisons can be developed using a life cycle cost analysis technique. Generally, garage repairs carried out to high standards tend to be cheaper in the long run than the use of less desirable, but initially cheaper repair methods. It has also been found that funds spent on detection and repair early in the service life of the garage will keep the repair costs significantly lower than delaying repair measures until extensive damage has occurred.

## Implications for the Housing Industry

This report presents an overview of the most important aspects of corrosion-induced parking structure deterioration resulting from repeated exposure to roadway de-icing salts and moisture. An assessment of repair and maintenance options is provided for multi-storey cast-in-place reinforced concrete underground parking garages, which typically require comprehensive repair schemes to correct deficiencies. The document was originally intended as a reference for technical audiences not yet fully conversant with the deterioration problem. Today, it serves as a valuable resource, providing a concise summary of the issues surrounding parking garage deterioration and repair.

**Project Manager:** Alvin Houston
(contact person: Silvio Plescia)

**Research Consultant:** Suter Keller Inc.

**Housing Research at CMHC**

Under Part IX of the *National Housing Act*, the Government of Canada provides funds to CMHC to conduct research into the social, economic and technical aspects of housing and related fields, and to undertake the publishing and distribution of the results of this research.

This fact sheet is one of a series intended to inform you of the nature and scope of CMHC's research.

The **Research Highlights** fact sheet is one of a wide variety of housing-related publications produced by CMHC.

For a complete list of **Research Highlights**, or for more information on CMHC housing research and information, please contact:

The Canadian Housing Information Centre
Canada Mortgage and Housing Corporation
700 Montreal Road
Ottawa, ON K1A 0P7

Telephone: 1 800 668-2642
FAX: 1 800 245-9274

**DECEMBER 2000**

**OUR WEB SITE ADDRESS:** www.cmhc-schl.gc.ca

Although this information product reflects housing experts' current knowledge, it is provided for general information purposes only. Any reliance or action taken based on the information, materials and techniques described are the responsibility of the user. Readers are advised to consult appropriate professional resources to determine what is safe and suitable in their particular case. CMHC assumes no responsibility for any consequence arising from use of the information, materials and techniques described.

60975

LE POINT EN RECHERCHE

Série technique 00-125

# DÉTÉRIORATION DES GARAGES DE STATIONNEMENT ÉTAGÉS : CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉTENDUE, LES CAUSES ET LA RÉPARATION

## Introduction

Les ouvrages de stationnement sont soumis à des conditions en service rigoureuses. Celles-ci comprennent les surcharges de service, comme les vibrations et l'usure dues à la circulation des véhicules, ainsi que les effets environnementaux comme l'humidité élevée, les variations thermiques et la corrosion causée par les sels déglaçants. En agissant à l'unisson, ces facteurs peuvent mener à une détérioration prématurée des ouvrages de stationnement, même s'ils ont été construits en conformité avec les codes du bâtiment prescrits. La détérioration majeure des ouvrages de stationnement est d'abord apparue à la fin des années 70, et le problème s'est généralisé en une décennie. La recherche a été commandée par la SCHL afin de faire la lumière sur les facteurs susceptibles d'améliorer la performance des ouvrages de stationnement.

## Programme de recherche

La recherche présente un survol des aspects les plus importants de la détérioration des ouvrages causée par la corrosion à la suite d'une exposition répétée aux sels déglaçants et à l'humidité. Il s'agit de la troisième étude réalisée par la SCHL traitant de la détérioration des ouvrages de stationnement.

Les deux études précédentes, publiées en 1981 et 1984, ont été réalisées par J. A. Bickley de Trow Ltée (voir Le point en recherche 00-128). Le rapport dont il est ici question renvoie à des éléments clés de l'étude de 1984 et fournit des renseignements additionnels tirés de l'expérience personnelle de l'auteur afin de brosser un tableau de la situation relative à la détérioration et à la réparation des ouvrages de stationnement.

## Résultats

Le rapport traite de l'évaluation et de la réparation des ouvrages de stationnement chauffés, typiquement composés de dalles de béton suspendues coulées en place, et comporte six parties :

1.0 Introduction
2.0 Causes et catégories de détérioration
3.0 Évaluation de l'étendue de la détérioration
4.0 Options et techniques de réparation
5.0 Méthodes d'inspection et d'entretien
6.0 Questions d'ordre financier

SCHL CMHC

AU COEUR DE L'HABITATION
Canada

Il a été rédigé à l'intention d'un auditoire technique qui n'est pas encore au fait de l'étendue de la détérioration. Les points saillants décrits dans chacune des parties sont résumés ci-dessous.

### Causes et catégories de détérioration

La cause de détérioration la plus importante de ces ouvrages est attribuable à la corrosion de l'acier d'armature causée par l'action des sels déglaçants. C'est en présence d'un potentiel électrique dans l'armature, d'un électrolyte conducteur d'électricité et d'oxygène, que la corrosion se produit. Les facteurs qui influent sur le taux de corrosion sont les suivants :

- Concentration en chlorures : plus le niveau est élevé, plus le taux corrosion sera élevé.
- Taux d'humidité : normalement, la corrosion s'arrête tôt pendant le processus de séchage initial et ne devrait pas recommencer à moins que le béton ne redevienne presque entièrement saturé.
- Malaxage du béton : un béton affichant un faible rapport eau-ciment résiste mieux à la pénétration de l'eau, de l'oxygène et des chlorures.
- Enrobage de l'acier d'armature : un enrobage de béton plus épais diminue considérablement le taux de corrosion, surtout à cause d'une réduction du taux de pénétration des ions chlorures.

Les autres catégories de détérioration comprennent la fissuration, la lixiviation et l'écaillage.

### Évaluation de l'étendue de la détérioration

Un programme d'études de la détérioration des ouvrages de stationnement a pour objectifs :

- d'établir la nature et l'étendue des dommages,
- de déterminer les causes sous-jacentes de la détérioration; et
- d'élaborer un programme complet de réparation.

Le processus d'examen lui-même doit être complet et systématique et devrait idéalement comporter deux phases.

La première phase consiste à effectuer un examen visuel afin de cerner le problème, de planifier l'investigation détaillée et d'obtenir un aperçu des répercussions structurales attribuables aux défauts. Plus particulièrement, cet examen préliminaire comprend une étude documentaire, une inspection visuelle et un relevé photographique, la prise d'échantillons de béton écaillé aux fins d'analyse préliminaire de la corrosion de l'armature et vraisemblablement de la teneur en chlorures, un essai qui consiste à traîner une chaîne sur le sol pour déterminer l'étendue du délaminage et l'utilisation d'un pachomètre pour mesurer l'enrobage de l'armature.

La deuxième phase sert à quantifier les éléments clés suivants : étendue de la corrosion (mesures du potentiel à la demi-pile), étendue du délaminage, enrobage de béton, niveau des chlorures, perméabilité et résistance du béton. On peut aussi examiner d'autres variables comme la qualité du béton (résistance en compression, teneur en ciment, densité et teneur en air occlus), la résistance électrique des membranes imperméabilisantes pour évaluer leur perméabilité à l'eau, et le drainage des dalles pour relever les endroits où l'eau est susceptible de s'accumuler. Les données sont habituellement présentées graphiquement sur un plan du garage.

### Options et techniques de réparation

Le programme de réparation doit répondre aux besoins structuraux et fonctionnels. On choisira l'une ou l'autre des options de réparation suivantes en fonction de l'état du garage et des limites budgétaires :

- L'injection d'époxyde dans les fissures et la mise en place d'une couche d'usure à membrane d'étanchéité.
- Le remplacement du béton et de l'armature détériorés, et la pose d'une couche d'usure à membrane d'étanchéité.

- Le remplacement du béton et de l'armature détériorés, et la mise en place d'une chape de béton dense.

- Le remplacement du béton et de l'armature détériorés, et l'installation d'un système de protection cathodique.

- La démolition et la reconstruction complètes de l'ouvrage.

### Méthodes d'inspection et d'entretien

En raison des leurs exigences fonctionnelles particulières et de l'environnement sévère auxquels ils sont soumis, les ouvrages de stationnement requièrent des inspections et des entretiens périodiques qui tiennent compte de leurs particularités. On recommande qu'une inspection visuelle annuelle soit menée afin de déceler les dommages ou les fuites. Un entretien périodique doit aussi être effectué, qui doit comprendre le nettoyage des avaloirs, le rinçage à l'eau des surfaces et la fourniture d'une ventilation adéquate. La réduction ou l'élimination du chauffage dans un ouvrage de stationnement peut aussi prolonger la durée utile des dalles de béton.

### Questions d'ordre financier

En général, la réparation des ouvrages de stationnement requièrent un compromis entre ce qui est techniquement possible et ce qui est financièrement réalisable. Des comparaisons à long terme peuvent être esquissées à l'aide de la technique d'estimation du coût global. Généralement, les réparations de haute qualité sont plus économiques à la longue que des techniques moins coûteuses initialement, mais peu recommandables. On a également découvert que les sommes engagées pour déceler et réparer les dommages tôt dans le cycle de vie de l'ouvrage contribuent à maintenir un coût global inférieur à celui engendré par des réparations qui seraient reportées jusqu'au moment où des dommages importants se produisent.

## Conséquences pour le secteur du logement

Le rapport présente un survol des aspects les plus importants de la détérioration des ouvrages de stationnement causée par la corrosion résultant de l'exposition aux sels déglaçants et à l'humidité. On y présente une évaluation des options de réparation et d'entretien pour les ouvrages souterrains à étages en béton armé, qui requièrent d'ordinaire l'élaboration d'un programme de réparation détaillé pour corriger les déficiences. À l'origine, le rapport a été publié à titre de document de référence à l'intention d'une communauté technique qui ignorait encore l'étendue des problèmes de détérioration. Il constitue, aujourd'hui, une ressource précieuse, puisqu'il dresse un bilan concis des points d'intérêt en matière de détérioration et de réparation des ouvrages de stationnement en béton.

**Directeur de projet :** Alvin Houston
(personne-ressource : Silvio Plescia)

**Consultants de recherche :** Suter Keller Inc.

**Recherche sur le logement à la SCHL**

Aux termes de la partie IX de la *Loi nationale sur l'habitation*, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à en publier et à en diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Les feuillets documentaires de la série **Le point en recherche** comptent parmi les diverses publications sur le logement produites par la SCHL.

Pour recevoir la liste complète de la série **Le point en recherche**, ou pour obtenir des renseignements sur la recherche et l'information sur le logement de la SCHL, veuillez vous adresser au :

Centre canadien de documentation sur l'habitation
Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario) K1A 0P7

Téléphone : 1 800 668-2642
Télécopieur : 1 800 245-9274

**DÉCEMBRE 2000**

**NOTRE ADRESSE SUR LE WEB:** http://www.cmhc-schl.gc.ca/Recherche

Cette publication contient les renseignements les plus à jour dont disposait la SCHL au moment de sa parution et ont été revus, par des expets du secteur de l'habitation. Toutefois, la SCHL n'assume aucune responibilité pour les dommages, les blessures, les coûts et les pertes pouvant découler de l'utilisation de ces renseignements

LNH 2267